

DIMENSIONAMENTO DE DESCARREGADORES DE SOBRETENSÕES (DSTs) PARA REDES DE MÉDIA, ALTA E MUITO ALTA TENSÃO: METODOLOGIA, NORMAS E APLICAÇÕES.

Resumo

Este documento fornece uma metodologia completa para o dimensionamento de Descarregadores de Sobretensões (DSTs) em redes de Média Tensão (MT), Alta Tensão (AT) e Muito Alta Tensão (MAT).

Abordam-se as normas aplicáveis (portuguesas, europeias, internacionais e E-Redes), critérios técnicos, seleção de fabricantes e um estudo de caso prático. O objetivo é capacitar o leitor a dimensionar DSTs com elevado profissionalismo, garantindo a proteção eficaz de redes elétricas contra sobretensões transitórias.

Lista de Siglas e Símbolos

Tabela 1: Lista de Siglas e Símbolos utilizados no artigo

Símbolo/Abreviatura Significado	
DST	Descarregador de Sobretensões
MT	Média Tensão
AT	Alta Tensão
MAT	Muito Alta Tensão
BIL	Nível Básico de Isolamento ao Impulso (Basic Impulse Level)
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
E-Redes	Operador da Rede de Distribuição em Portugal
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
NP	Norma Portuguesa
EN	Norma Europeia
U_n	Tensão nominal do sistema (kV)
U_r	Tensão nominal do DST (kV)
U_{res}	Tensão residual do DST (kV)
E_c	Capacidade de absorção de energia (kJ)
I_d	Corrente de descarga (kA)
k	Fator de proporcionalidade para cálculo da tensão residual
Z_s	Impedância do sistema (Ω)
t	Duração da sobretensão (μs)

1. Introdução

Os Descarregadores de Sobretensões (DSTs) são dispositivos críticos para a proteção de redes elétricas contra sobretensões transitórias, causadas por descargas atmosféricas, manobras ou defeitos no sistema.

Em Portugal, as redes de MT (10 kV – 30 kV), AT (60 kV – 150 kV) e MAT (220 kV – 400 kV) exigem um dimensionamento rigoroso, considerando fatores como:

- Tensão residual (U_{res}) e coordenação de isolamento;
- Capacidade de absorção de energia (E_c) para sobretensões múltiplas;
- Condições ambientais (ex.: corrosão costeira, alta densidade de descargas atmosféricas).

Este documento cobre todas as etapas do dimensionamento, desde a seleção de normas até a escolha do fabricante, com exemplos práticos e referências atualizadas.

2 Considerações Metodológicas e Limitações

Este método de dimensionamento adota diversos pressupostos que simplificam a análise, mas que podem limitar a precisão em condições reais. Destacamos os seguintes pontos:

- Assunção de Linearidade: A abordagem assume que a resposta do DST à sobretensão é linear, o que facilita os cálculos de U_{res} e E_c . Em situações reais, entretanto, o comportamento pode apresentar não-linearidades – especialmente quando o equipamento opera próximo de seus limites – o que pode levar a diferenças entre os valores teóricos e os medidos.

- Fator de Proporcionalidade k : O valor de k é extraído de dados técnicos fornecidos pelos fabricantes e ensaios laboratoriais. Apesar de os intervalos de k serem semelhantes entre diferentes modelos, pequenas variações podem influenciar significativamente o cálculo de U_{res} . Uma análise comparativa mostra que a escolha do fabricante e as condições de teste podem ter impacto na fiabilidade dos resultados.
- Comparação de Abordagens: Além do método simplificado apresentado, alternativas como simulações numéricas avançadas e medições *in loco* com instrumentação de alta precisão podem oferecer uma modelação mais detalhada. Embora essas abordagens sejam mais precisas, elas também exigem investimentos maiores em tempo e recursos, além de apresentarem desafios na calibração e na integração dos dados.

2.1 Desafios na Implementação Prática

Na prática, a implementação deste dimensionamento enfrenta desafios adicionais, tais como:

- Variabilidade Ambiental: Fatores como corrosão, variações climáticas e interferências eletromagnéticas podem alterar o desempenho do DST ao longo do tempo.
- Discrepâncias entre Ensaios e Condições Reais: Ensaios laboratoriais são realizados em condições controladas, enquanto a operação real envolve variabilidade nas tensões e correntes, podem ter impacto na resposta efetiva do equipamento.
- Integração com Sistemas de Monitorização: A implantação de monitorização contínuo é essencial para ajustar os parâmetros teóricos e acompanhar o desgaste e envelhecimento dos equipamentos.

3 Fluxograma do Processo de Dimensionamento

A Figura 1 apresenta um diagrama ilustrativo dos passos para o dimensionamento dos DSTs.

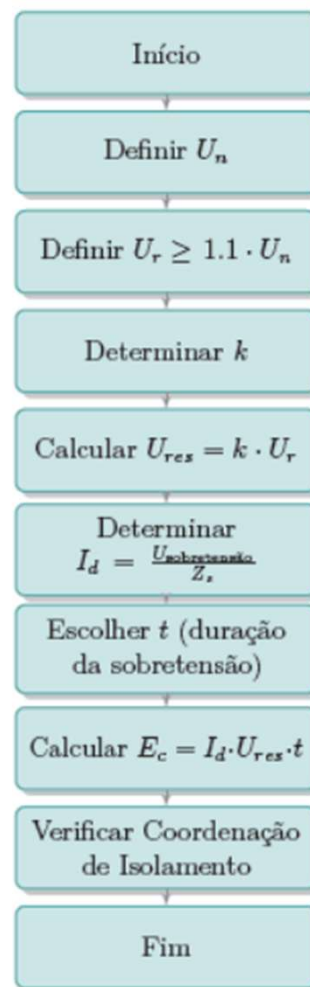


Figura 1: Fluxograma do processo de dimensionamento dos DSTs.

4 Normas Aplicáveis

4.1 Normas Portuguesas

- NP EN 60099-4: Norma portuguesa que adapta as diretrizes da IEC 60099-4 para DSTs de óxido metálico sem disjuntor, definindo requisitos de desempenho, ensaios e dimensionamento para proteção de sistemas de corrente alternada contra sobretensões transitórias [1].
- NP EN 50522: Estabelece requisitos para o projeto, execução e verificação de sistemas de terra em instalações elétricas AC com tensão superior a 1 kV, garantindo a segurança de pessoas e equipamentos [2].

4.2 Normas Europeias

- EN 60099-4: Norma europeia que define requisitos para DSTs em sistemas AC, com foco em desempenho e ensaios [3].
- EN 50522: Especifica requisitos para instalações elétricas, incluindo coordenação de isolamento e proteção contra sobretensões [4].

4.3 Normas Internacionais

- IEC 60099-4: Norma internacional da IEC que define os requisitos, métodos de ensaio e critérios de dimensionamento para DSTs de óxido metálico, destinados a proteger sistemas de corrente alternada contra sobretensões transitórias. A norma visa assegurar a eficácia e fiabilidade dos dispositivos de proteção, contribuindo para a integridade dos equipamentos elétricos [5].
- IEC 60071: Define princípios, critérios e métodos para a coordenação de isolamento em sistemas elétricos de alta tensão [6].
- IEEE C62.11: Norma IEEE para DSTs de óxido metálico, com foco em aplicações em sistemas de energia [7].

4.4 Regulamentos da E-Redes

- DRE-C10-001/N: Documento interno da E-Redes que define critérios de isolamento em redes de MT e AT, seguindo normas IEC [8].

5 Dimensionamento de DSTs

5.1 Passo a Passo para MT, AT e MAT

- Definir a Tensão Nominal do Sistema (U_n):

A tensão nominal do sistema (U_n) é a tensão de operação normal da rede.

Para redes de MT, AT e MAT em Portugal, os valores típicos são:

- MT: 10 kV, 15 kV, 20 kV, 30 kV.
- AT: 60 kV, 150 kV.
- MAT: 220 kV, 400 kV.

Observação: Considera-se que a tensão máxima de operação (U_m) é aproximadamente $1,1 \times U_n$.

- Definir a Tensão Nominal do DST (U_r):

A tensão nominal do DST (U_r) deve ser escolhida de forma que cubra a tensão máxima do sistema, ou seja:

$$U_r \geq 1,1 \times U_n$$

Exemplo: Para $U_n=150$ kV, adota-se $U_r=170$ kV.

- Determinar o Fator k:

O fator k depende do modelo do DST e é obtido a partir de dados técnicos dos fabricantes ou ensaios laboratoriais e pode ser consultado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores Típicos do Fator k para DSTs

Tipo de DST	k
Óxido Metálico (Siemens 3EL)	2.3–2.6
Óxido Metálico (ABB POLIM-D)	2.4–2.7
Óxido Metálico (Eaton X-GAP)	2.5–2.8
Nota: Valores obtidos de catálogos técnicos.	

- Calcular a Tensão Residual (U_{res}):

A tensão residual (U_{res}) é a tensão que aparece nos terminais do DST durante uma descarga, calculada por:

$$U_{res} = k \times U_r$$

Nota: Essa expressão baseia-se na hipótese de linearidade, cuja validade deve ser confirmada por testes práticos.

v. Determinar a Corrente de Descarga (I_d):

A corrente de descarga (I_d) é obtida pela Lei de Ohm:

$$I_d = \frac{U_{sobretensão}}{Z_s}$$

onde:

- $U_{sobretensão}$: Valor máximo da sobretensão no sistema (kV).
- Z_s : Impedância equivalente do sistema (em Ω).

Exemplo: Para $U_{sobretensão}=170$ kV e $Z_s=17 \Omega$, obtém-se $I_d=10$ kA.

vi. Escolher a Duração da Sobretensão (t):

A duração do sobretensão (t) depende do tipo de evento:

- Descargas Atmosféricas: Típica de 20 μ s a 50 μ s.
- Manobras: Varia entre 100 μ s e 1 ms.

Para redes sujeitas a descargas atmosféricas, recomenda-se $t=20 \mu$ s.

vii. Calcular a Capacidade de Absorção de Energia (E_c):

A capacidade de absorção de energia (E_c) é a energia máxima que o DST pode dissipar, calculada por:

$$E_c = I_d \times U_{res} \times t$$

Nota: Esta aproximação pressupõe que o sinal de sobretensão possui um perfil retangular, o que pode não refletir exatamente a sua forma real.

viii. Verificar a Coordenação de Isolamento:

A tensão residual U_{res} deve ser inferior à tensão de sobretensão suportável (BIL) dos equipamentos protegidos, normalmente com uma margem de segurança de 15%:

$$U_r < 0,85 \times BIL$$

Exemplo: Para BIL=750 kV, $U_{res}=442$ kV < 638 kV.

6 Fabricantes de DSTs

6.1 Principais Fabricantes

- Siemens: Série 3EL, reconhecida por sua alta capacidade de absorção de energia e conformidade com normas internacionais [9].
- ABB: Série POLIM-D, voltada para redes de AT e MAT [10].
- Eaton: Série X-GAP, destacando-se pela resistência a condições ambientais extremas [11].

6.2 Critérios de Seleção

- Conformidade com normas IEC e IEEE.
- Capacidade de absorção de energia (E_c) adequada à aplicação.
- Resistência a condições ambientais (ex.: corrosão, temperaturas extremas).
- Custo do ciclo de vida (LCC), incluindo manutenção e substituição.

7 Estudo de Caso: Subestação de 150 kV

7.1 Contexto

- Localização: Região costeira com alta densidade de descargas atmosféricas (15 descargas/km²/ano).
- Equipamentos: Transformadores de 250 MVA, BIL=750 kV.
- Tensão nominal: $U_n=150$ kV.

7.2 Dimensionamento

- $U_r=170$ kV (Siemens 3EL).
- $U_{res}=442$ kV < 638 kV (considerando $0,85 \times BIL$).
- $E_c=88,4$ kJ (atende aos requisitos para sobretensões múltiplas).

7.3 Resultados

Tabela 3: Comparação de Modelos de DST para 150 kV

Modelo	U_{res} (kV)	E_c (kJ)	Custo (k€) ^a
Siemens 3EL	442	88.4	120
ABB POLIM-D	435	85.0	115
Eaton X-GAP	450	90.0	130

^a Valores estimados para fins didáticos. Para valores reais, consulte diretamente os fabricantes.

7.4 Análise Crítica da Escolha do DST

A seleção do modelo Siemens 3EL para a subestação de 150 kV baseia-se em:

- Desempenho Técnico: $U_{res}=442$ kV está dentro dos limites seguros em relação ao BIL dos equipamentos.
- Capacidade de Absorção de Energia: $E_c=88.4$ kJ é suficiente para suportar sobretensões múltiplas sem comprometer a integridade do sistema.
- Custo-Benefício: O custo de 120 k€ apresenta uma boa relação entre desempenho e investimento, quando comparado aos modelos concorrentes.
- Conformidade e Robustez: O modelo cumpre rigorosamente as normas IEC e IEEE, bem como os regulamentos internos do Operador da Rede, e é adequado para operar em ambientes adversos.

8 Conclusão

O dimensionamento de DSTs é um processo complexo que vai além da simples aplicação de fórmulas teóricas. Embora a metodologia apresentada permita um dimensionamento inicial fundamentado, é crucial:

- Realizar medições experimentais para validar as hipóteses de linearidade e os valores de k .
- Considerar a variabilidade das condições operacionais e ambientais para ajustar os parâmetros de projeto.
- Integrar sistemas de monitorização contínuo para acompanhar o envelhecimento e desgaste dos equipamentos.

Considerações Finais: Esta metodologia oferece uma base sólida para o dimensionamento de DSTs, mas recomenda-se uma abordagem multidisciplinar que combine modelação teórica, simulações avançadas e validação no campo para assegurar a máxima eficácia na proteção de redes elétricas.

Referências

- [1] IPQ. NP EN 60099-4: Pára-raios de óxido de metal sem disruptor para redes de corrente alternada. Lisboa: IPQ, 2014.
- [2] IPQ. NP EN 50522: Ligação à terra das instalações elétricas em corrente alternada de potência superior a 1 kV. Lisboa: IPQ, 2022.
- [3] CENELEC. EN 60099-4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems. Bruxelas: CENELEC, 2014.
- [4] CENELEC. EN 50522: Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c. Bruxelas: CENELEC, 2022.
- [5] IEC. IEC 60099-4: Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems. Genebra: IEC, 2014.
- [6] IEC. IEC 60071-2: Insulation co-ordination – ALL PARTS. Genebra: IEC, 2022.
- [7] IEEE. IEEE C62.11: IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV). USA: IEEE, 2020.
- [8] E-Redes. DRE-C10-001/N: Guia de coordenação de isolamento (GCI). Lisboa: EDP, 2023.
- [9] Siemens AG. 3EL Series Surge Arresters. Munique: Siemens, 2023.
- [10] ABB Ltd. POLIM-D Surge Arresters. Zurique: ABB, 2023.
- [11] Eaton Corporation. X-GAP Surge Arresters. Dublin: Eaton, 2023.

